

Остальные профили через Кажминский оз были исследованы методами георадиолокации и электротомографии. Рассмотрим один из них.

На разрезах по профилю 8 отмечена хорошая корреляция данных георадиолокации и электротомографии (рис. 3). В центральной части, с 44 до 120 м профиля, в верхней части геоэлектрического разреза выделяется зона повышенных сопротивлений (10–80 кОм·м). На радарограмме эта область характеризуется прерывистыми интенсивными осями синфазности с большим количеством единичных, нечетких дифрагированных волн над локальными объектами. Эта толща интерпретирована как песчано-гравийная, сложенная среднезернистым песком с включениями валунов и гравия.

В начале и в конце профиля (0–44 и 120–150 м) в волновой картине выражены прерывистые оси синфазности, наблюдается повышенное затухание сигнала за счет увеличения содержания глинистого вещества. По данным электротомографии, удельное сопротивление в нижней части разреза имеет значения около 1 кОм·м, а электромагнитный сигнал затухает, что указывает на повышенное содержание глин в данной толще. На разрезе также прослеживаются разрывные нарушения.

Таким образом, наблюдается широкое, но неравномерное распространение ленточных глин в теле озовой гряды, толща песков с валунами и гравием в его верхней части, также неоднородная по составу и невыдержанная по мощности, и кровля коренных пород, прослеженная на некоторых профилях.

Заключение. В результате проведенных геофизических исследований Кажминского оза было изучено строение озовой гряды, отличающееся значительной неоднородностью, выделены толщи, различные по физическим свойствам и литологическому составу, а также прослежены сейсмодислокации, характерные для озоев Заонежья. При работе на подобных объектах геофизические методы позволяют расчленять различные по составу слои, прослеживать границы при отсутствии многочисленных данных бурения, а также выявлять неоднородности в разрезе и разрывные нарушения.

Список литературы

1. Бискэ Г.С. Четвертичные отложения и геоморфология Карелии. Петрозаводск, 1959. 307 с.
2. Бискэ Г.С., Лак Г.П., Лукашов А.Д., Горюнова Н.Н., Ильин В.А., Сыромятина Н.Д. Отчет по теме: «Геолого-геохимические особенности четвертичных отложений Онего-Сегозерского водораздела и Заонежья, как основа для поисков закрытых месторождений». Институт геологии, г. Петрозаводск, 1966 г.
3. Родионов А.И. Опыт проведения и актуальность георадиолокации флювиогляциальных форм рельефа при разведке месторождений песка и песчано-гравийных смесей. Материалы XXVI молодежной научной школы-конференции «Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики и геоэкологии», Петрозаводск, 2015 г.
4. Родионов А.И., Рязанцев П.А. Георадиолокационное изучение ледниковых отложений в юго-западной Карелии // Вестник ВГУ. Серия: геология. 2017. № 1. С. 123–129.
5. Holst N.O. Om de glaciala rullstensasarne. Geol. Foren. i Stockholm Forh., vol. 3, 1876–1877, pp. 97–112.
6. Strandmark P.W. Om rullstensbildningarne och sattet hvarpa de blifvit danade Laroverksprogram. Helsingfors, 1885.

ПОИСК И ЛОКАЛИЗАЦИЯ СЕЙСМОДИСЛОКАЦИЙ В ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Родионов А.И.¹, Николаева С.Б.², Рязанцев П.А.¹

¹Институт геологии Карельского научного центра РАН, fabian4695@gmail.com

²Геологический институт КНЦ РАН

Введение. Изучение четвертичных отложений является важной и достаточно сложной задачей для геологических дисциплин. Анализ строения ледниковых форм рельефа, а также водоемов, образовавшихся в межледниковые периоды, может играть важную роль в процессе восстановления климатических условий формирования среды, а также при выделении катастрофических событий, произошедших в четвертичный период (Николаева и др., 2016).

На территории Фенноскандинавского щита, в частности в ее северной части, четвертичные отложения представлены осадками, накопившимися в период последнего верхневалдайского оледенения, в ходе которого регион был, подвергнут мощной экзарации ледниковыми массами.

Изучение ледниковых отложений, как правило, осуществляется методами прямого отбора проб, а именно: в ходе отработки шурфовых канав на суше и бурением скважин в процессе исследований на водных объектах. Однако, стоит отметить, что в качестве дополнения к имеющимся методикам все чаще включают методы малоглубинной геофизики, в частности георадиолокация (Neal, 2004).

В литературе имеется множество примеров использования георадиолокации для исследования малых водоемов. Так, например, в публикации (Gomez, Miller, 2017) показано применение георадиолокации при изучении залегания осадков береговых склонов и озерных отложений. Георадар позволил авторам установить, как слои с отличающимся генезисом отражаются в волновом поле. Существует пример получения батиметрических карт водоема на основе данных георадиолокации (Bava and Sambuelli, 2012). Исследователями отмечается высокая эффективность этого метода при определении глубин. Отдельно в работе освещается важность учета величины удельной электрической проводимости воды (σ_w) при оценке глубинности распространения полезного сигнала.

Исследуемый объект. В данной работе описывается опыт применения георадиолокации на малом озере, расположенном на Кольском полуострове, в водораздельной зоне крупнейшего водоема региона – озере Имандра. На данном объекте в период с 2013 по 2015 год, сотрудниками КНЦ РАН были пробурены несколько скважин и получены детальные буровые колонки с шагом измерения 5–10 см. В ходе изысканий, в толще донных осадков был выделен горизонт, содержащий повышенное количество древесных осадков, а так же песка и алеврита. Присутствие в разрезах озер аномального («брекчиевого» или «маркирующего») горизонта явно указывает на катастрофические изменения условий осадконакопления. Судя по характеру нарушений, образование осадков было быстрым, одномоментным, что возможно только в результате сильного встряхивания во время землетрясения и связывается с сейсмогравитационными оползневыми процессами. По данным бурения размер оползневого тела 600 x 50 м. Радиоуглеродное датирование образца гиттии из горизонта ненарушенных осадков, подстилающих «брекчиевый» горизонт и обломок древесины из его верхней части свидетельствует об образовании этих 11 осадков в интервале времени 6.5–5.6 тыс.л.н. (радиоуглеродных) или 6.4–7.3 тыс.л.н. (кал.) (Николаева и др., 2016; Nikolaeva et al., 2017).

Методика и аппаратура. Съемка выполнялась георадаром серии ОКО-2, антенным блоком с центральной частотой 150 МГц. Разрешающая способность такой антенны составляет ± 30 см, а предельная глубина проникновения сигнала зависит от электрофизических свойств изучаемой среды и в среднем составляет 10 м. Обработка данных проведена в ПО GeoScan32. Исследования производились в зимний период со льда. Помимо георадиолокации, при помощи кондуктометра СОМ-100, была определена электропроводность воды, составившая 18 мкСм/см при общей минерализации в 7,9 ppm. Подобные низкие значения свидетельствуют о пригодности выбранного озера для изучения методом георадиолокации. Также оценивалась толщина льда, она варьируется в интервале от 0,5 до 0,7 м.

Результаты. Для исследования донных отложений водоема было выполнено 11 георадарных профилей по льду, общей длиной порядка 4 погонных км, при площади озера 0,33 км². Профили были заложены по нерегулярной сети и сконцентрированы в области расположения геологических скважин (Николаева и др., 2016).

В качестве примера регистрируемых данных, на рис. 1 приводится схема интерпретации радарограммы по профилю № 6. На первом этапе изучается временной разрез (рис. 1А), так как при работе со льда зачастую возникает ряд интенсивных помех, для улучшения данных выполнялась частотная фильтрация записи. Анализ радарограммы позволил выделить оси синфазности и времена прихода сигнала для четырех основных отражающих границ (ОГ) которые мож-

но соотносить с границами: лед–вода, вода–гиттия, гиттия–минеральное основание, а также характерный горизонт в толще гиттии, который рассматривается как маркирующий. Этот горизонт, как уже отмечалось, сложен смесью разных пород, что создает разность электрофизических свойств, вызывающих формирование интенсивного рефлексора.

В интервале между ОГ определены георадарные комплексы, отражающие вещественный состав слоев. Например, в воде отсутствуют оси синфазности внутри слоя, а гиттия характеризуется наличием субпараллельных протяженных осей. Минеральное основание имеет более сложную георадарную картину – бугристую неоднородную структуру записи, с фрагментами протяженных осей синфазности, участками дифрагированных волн и областями затухания. Это позволяет предположить наличие песков разной крупности и формы залегания. Кроме того, на записях фиксировались области срыва протяженных осей синфазности как возможные признаки дислокаций, а также наиболее проявленные волны-помехи.

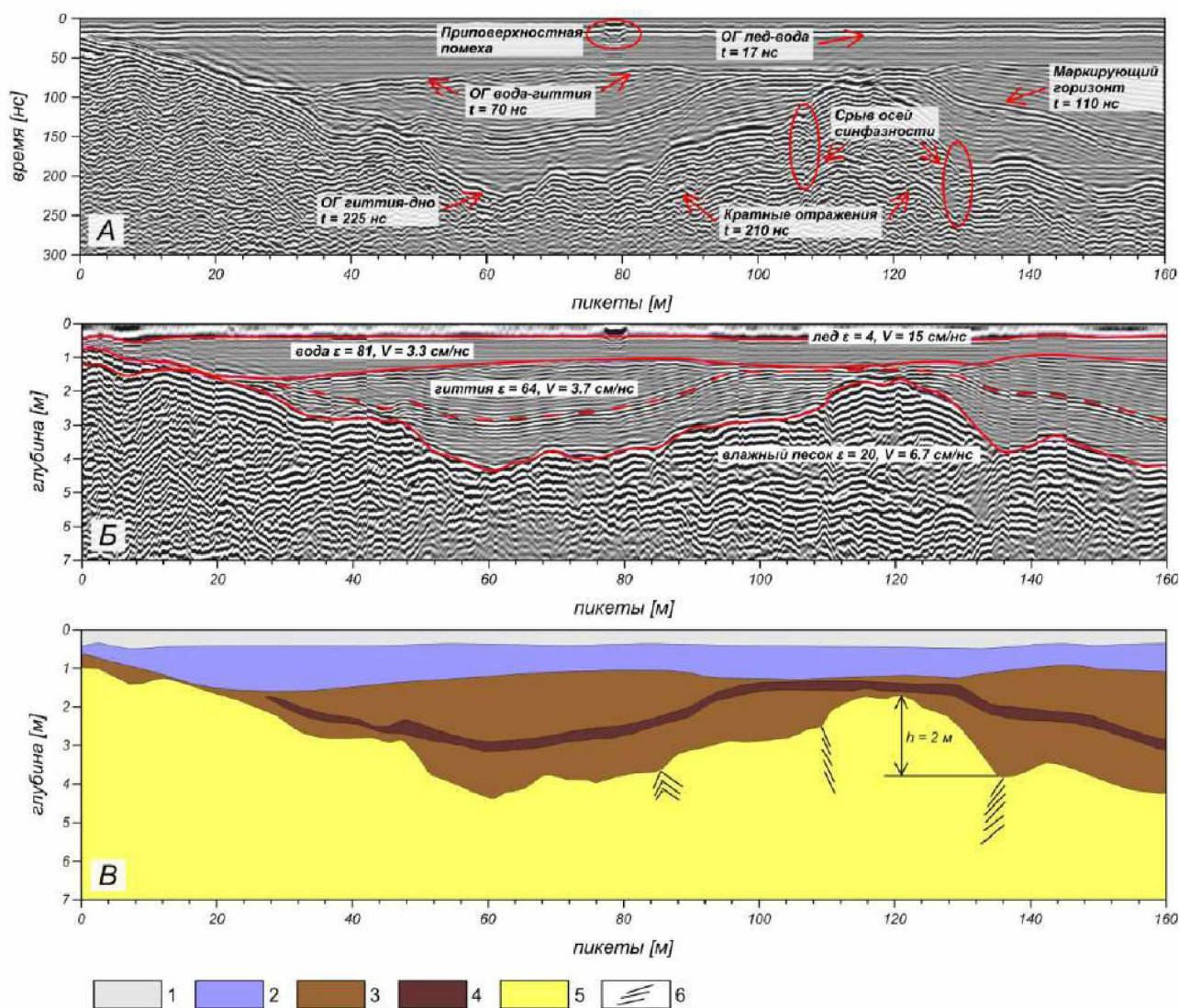


Рис. 1. Профиль георадиолокации 6 с временной разверткой 300 нс (А), пересчитанный в глубинный после ввода ϵ (Б) и результаты интерпретации (В), где: 1 – лед, 2 – вода, 3 – гиттия, 4 – маркирующий горизонт, 5 – пески, 6 – области смещения

На втором этапе выполняется переход к глубинному разрезу путем пикирования выделенных слоев и присвоения им параметра ϵ (рис. 1Б), что позволило определить скорость электромагнитной волны и рассчитать глубину залегания каждого слоя. В данном случае для льда и во-

ды использовались справочные значения ϵ , а для гиттии и подстилающего ее песка величина ϵ определялась по набору дифрагированных волн. Льду было присвоено значение $\epsilon = 4$ и $\epsilon = 81$ для воды. Величина ϵ для гиттии составила 64, а для минерального основания $\epsilon = 20$.

В итоге, трассировано положение границ каждого слоя и составлен геологический разрез (рис. 1В). По полученным данным установлена мощность гиттии и оценено изменение конфигурации маркирующего горизонта, локализована область тектонических нарушений в минеральных осадках с амплитудой 1,2–1,7 м.

Поскольку интерпретация данных георадиолокации не всегда однозначна, в статье приводятся результаты комплексного подхода, где информация, полученная с помощью георадара, сравнивается и заверяется данными детального бурения и литостратиграфического изучения осадков, а также геоморфологическими наблюдениями из близлежащих наземных территорий которые были опубликованы ранее (Nikolaeva et al., 2017). Профили георадиолокации привязывались по координатам к скважинам, что позволило сравнить фрагменты радарограмм и литостратиграфические колонки (рис. 2).

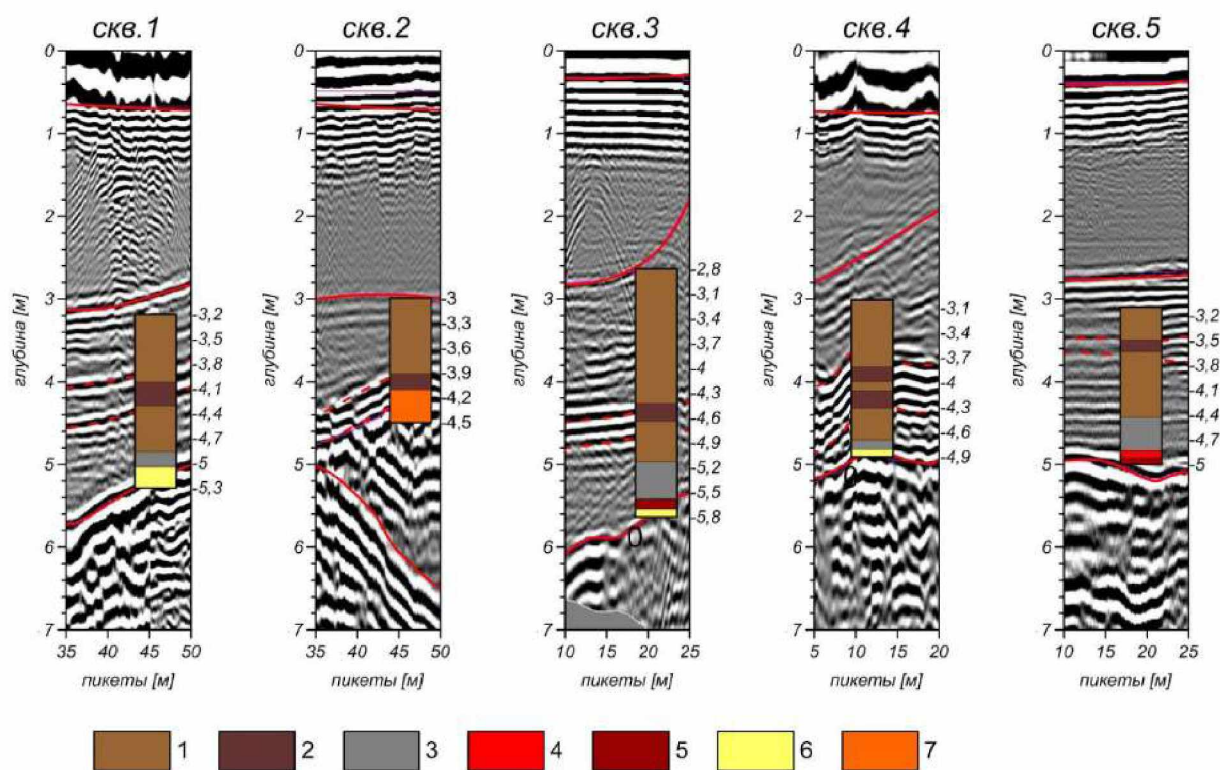


Рис. 2. Сопоставление фрагментов радарограмм и литостратиграфических колонок кернов донных отложений по (Николаева и др., 2016).

1 – гиттия коричневого цвета; 2 – брекчиевый (маркерный) горизонт; 3 – гиттия черного цвета; 4 – гиттия с алевритом; 5 – алеврит; 6 – песок; 7 – песок с прослоями гиттии и алеврита

Выводы. Применение метода георадиолокации позволило быстро и детально обследовать водоем. Данные бурения значительно облегчили процесс интерпретации радарограмм и соотнести геологические слои с характерными участками волнового поля. Помимо выделенного в ходе бурения маркирующего горизонта, использование георадиолокации позволило локализовать участки, подвергнутые тектоническому воздействию после его формирования, что позволяет рекомендовать данный метод при проведении такого рода работ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-35-50079 «Поиск и локализация нарушений и деформаций в четвертичных отложениях восточной части Фенноскандинавского щита методом георадиолокации».

Список литературы

1. Николаева С.Б., Лаврова Н.Б., Денисов Д.Б., Толстобров Д.С. Следы катастрофических процессов в донных осадках озер западного побережья озера Бабинская Имандра (Кольский регион) // Известия Русского Географического Общества. 2016. № 4. С. 38–52.
2. Bava S., Sambuelli L. Case study: A GPR survey on a morainic lake in northern Italy for bathymetry, water volume and sediment characterization // Journal of Applied Geophysics. 2012. V. 81. P. 48–56.
3. Gomez C., Miller J. Ground Penetrating Radar Analysis of Slope and Lake Sediments Interplay: A Survey of Lake Pearson // [Research Report] Kobe University. 2017.
4. Neal A. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress // Earth-Science Reviews. 2004. 66 (3–4). P. 261–330.
5. Nikolaeva S.B., Lavrova N.B., Denisov D.B. A catastrophic Holocene event in the lake bottom sediments of the Kola region (northeastern Fennoscandian shield) // Doklady Earth Sciences 2017. T. 473. № 1. P. 308–312.

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Родионов А.И.¹, Рязанцев П.А.¹, Киброев И.С.²

¹ Институт геологии Карельского научного центра РАН, fabian4695@gmail.com

² Петрозаводский государственный университет

Введение. Методы малоглубинной геофизики находят все большее применение при решении инженерных и инженерно-геологических задач. Одним из методов изучения приповерхностной части разреза является георадиолокация. Данный метод хорошо зарекомендовал себя в сфере инженерной геофизики при выполнении неразрушающего контроля различных сооружений, а так же обнаружения скрытых коммуникаций. К таким коммуникациям могут относиться различные линейно вытянутые объекты, к примеру, трубы, кабель каналы и армированные крепежи бетонных конструкций. Их выделение основывается на возникновении явления дифракции электромагнитной волны над локальными объектами. В случаях протекания дифракции на радарограммах фиксируются оси синфазности в форме гиперболы, размах крыльев которых может зависеть от множества факторов. Анализ геометрии гипербол позволяет осуществлять расчет скорости прохождения электромагнитной волны и относительной диэлектрической проницаемости (ϵ) вмещающей локальный объект среды. Правильное определение параметра ϵ является очень важным, потому что именно от него зависит, насколько точно временной разрез будет присчитан в глубинный. Именно этот факт обуславливает интерес исследователей к дифракции.

Методы и подходы. Одним из способов упрощения процесса интерпретации георадиолокационных данных является определение волновых картин характерных для определенных геологических обстановок, так называемых поисковых образов. Подобные образы могут быть получены при помощи построения математических моделей или при выполнении натурных экспериментов. Физическое моделирование имеет преимущество в сравнении с математическим, так как выполняется в относительно идеальных и контролируемых условиях, но с применением реальных физических объектов и систем наблюдения.

Исполнение и форма измерительных ячеек для физического моделирования весьма разнообразна и напрямую зависит от преследуемых исследователями целей и задач. Наиболее распространенным является применения бака или емкости, заполненной однородной средой. При моделировании в бак вносятся неоднородности необходимой конфигурации, обладающие известными физическими свойствами и геометрией, после чего изучается степень и характер их влияния на волновое поле георадиолокации. Сбор данных проводится при помощи высокочастотных георадарных антенн (1–2 ГГц), что обеспечивает получение волновой картины сходной с результатами полевых наблюдений.